

направление армирования слоёв клеевого препрега стекловолокном с направлением прокатки алюминиевых листов, что при прочих равных условиях позволит повысить трещиностойкость СИАЛов более чем на 15%. Кроме того, при разработке термомеханических режимов производства листов из алюминиевых сплавов необходимо назначать согласованные режимы прокатки и промежуточной термической обработки (отжига), так как только сочетание различных идеальных кристаллографических ориентировок деформационного и рекристаллизационного типов может обеспечить максимальное повышение трещиностойкости СИАЛов.

Работа подготовлена в рамках Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-4169.2018.1).

УДК 621.438

РАСЧЁТ ПОТЕРЬ В ЛОПАТОЧНОМ ВЕНЦЕ ТУРБИНЫ ИЗ-ЗА УГЛА АТАКИ

©2018 Б.И. Мамаев, Е.Ю. Марчуков, А.В. Стародумов

ОКБ имени А. Льюльки, г. Москва

TURBINE BLADE ROW INCIDENCE LOSS CALCULATION

Mamaev B.I., Marchukov Y., Starodumov A. (Lyulka EDB, Moscow, Russian Federation)

The wide range of well-known semiempirical and empirical correlations on turbine cascade incidence losses was analyzed. The main flow and geometrical parameters that effected the incidence losses were found. It was offered parametrical complexes based on these parameters to obtain reliable and universal methods for the profile incidence losses estimation.

При эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и наземных газотурбинных установок (ГТУ) режимы работы турбин меняются в широких пределах, причём возможно длительное время функционирования турбины на переменных режимах, отличных от расчётных. Определение характеристик турбин и зависимостей параметров, определяющих её работу (КПД, пропускная способность и др.), необходимо для анализа самих турбин, согласования узлов в работе и для их доводки в процессе эксплуатации.

Расчёт характеристик связан с определением потерь энергии в лопаточных венцах

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6.
2. Rioja R., Liu J. The Evolution Of Al-Li Base Products For Aerospace And Space Applications // Metallurgical And Materials Transactions A. 2012. Vol. 43A. P. 3325-3337.
3. Grechnikov F.V., Antipov V.V., Erisov Y.A., Grechnikova A.F. A manufacturability improvement of glass-fiber reinforced aluminum laminate by forming an effective crystallographic texture in V95 alloy sheets // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015. Vol. 56. № 1. P. 39-4

турбины. Точность этого определения решающим образом влияет на пригодность характеристик к использованию на практике.

Одними из потерь энергии, которые дополнительно возникают на переменных режимах, являются потери из-за угла атаки на входе в решётку $\Delta\beta_1 = \beta_{1k} - \beta_1$. Они могут быть значительными в зависимости от величины угла $\Delta\beta_1$ и особенностей решётки.

Угол атаки изменяет обтекание решётки в области входной кромки профиля, а течение в выходной части не изменяется при изменении угла атаки в заданной решётке и при изменении конструктивного угла входа β_{1k} в проектируемой решётке. Наиболее не-

благоприятными являются режимы с малыми углами входа потока β_1 (при положительных углах атаки), когда на входном участке спинки профиля появляется заметный диффузорный участок и может возникнуть отрыв. При углах β_1 , больших расчётного, диффузорная область обнаруживается на поверхности корыта профиля. Исследования показали, что решётки с малой степенью конфузорности и малым углом поворота, а также активного типа более чувствительны к углу атаки.

Отрыв потока и связанное с ним вихревое движение внутри межлопаточного канала представляет собой настолько сложное нестационарное явление, что сколь-нибудь точное решение задачи по определению потерь из-за угла атаки оказывается в настоящее время невозможным. Главная причина – неадекватности моделей турбулентности.

Поэтому на практике широко применяются полуэмпирические и эмпирические зависимости для оценки профильных потерь из-за угла $\Delta\beta_1$. На основании большой и ценной работы по исследованию и обобщению экспериментальных результатов многими авторами предложены такие зависимости, учитывающие влияние различных факторов.

Анализируя известные зависимости, можно отметить, что, как правило, базовый экспериментальный материал для них содержит данные с небольшими по абсолютному значению углами атаки (не больше 20 – 30°). Необходимо добавить, что к настоящему времени мало данных по исследованию течений в решётках при больших по модулю отрицательных углах атаки и нет обоснованных методов расчёта потерь на таких режимах.

Недостаток многих зависимостей для оценки $\Delta\zeta(\Delta\beta_1)$ заключается в том, что они отражают влияние лишь угла атаки и углов потока. К тому же, наблюдается большой разброс значений $\Delta\zeta$ для решётки по разным зависимостям.

К настоящему времени накоплен богатый экспериментальный материал по исследованию современных решёток профилей. Он содержится в атласах турбинных решёток МЭИ, ЦИАМ, ЦКТИ, ЦАГИ и в отчётах заводских ОКБ и отраслевых лабораторий НИИ и вузов. Как показывает обзор этого материала, диапазоны изменения параметров, характеризующие исследования решёток, достаточно широкие.

Этот материал доступен для анализа и обобщения. Но увеличение числа влияющих факторов представляет значительную трудность при поиске зависимости $\Delta\zeta(\Delta\beta_1)$. Тогда в качестве первого шага, охватывающего основные проектные случаи, можно записать:

$$\Delta\zeta = f(\beta_1, \beta_2, \beta_{1k}, \bar{d}_1).$$

В соответствии с этим выражением можно получить двухпараметрическую базовую зависимость коэффициента дополнительных потерь из-за угла атаки $\Delta\zeta$ в функции комплекса $\frac{\sin\Delta\beta_1 \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_{1k} \cdot \sin\beta_1}$ и относительной толщины кромки \bar{d}_1 . Влияние шага \bar{t} и скорости λ_2 может быть учтено в дальнейшем с помощью дополнительных корректирующих коэффициентов.

Можно полагать, что такая методика, в которой будут учтены основные влияющие факторы, будет универсальной и более точной.

Уточнение потерь в решётке способствует повышению КПД турбины, т.к. погрешности определения параметров, находя отражение в результатах поверочных расчётов или в конструкторских решениях, могут приводить к появлению дополнительных потерь вследствие неоптимальности геометрии венцов или отклонений условий их работы от оптимальных. Повышение же КПД даже на доли процента имеет большее значение из-за сильного влияния на экономичность ГТД и ГТУ.